

Николай Андреевич Гребенников родился в 1978 г., окончил в 2002 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Аспирант кафедры "Системы обработки информации и управления". Автор 7 научных работ в области проектирования вычислительных систем.

N.A. Grebennikov (b. 1978) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 2002. Post-graduate of "Systems of Data Processing and Control" department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 7 publications in the field of design of computational systems.

ОПТИКА

УДК 681.7

В. М. Пономарев, И. С. Потапцев

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОНОВЫХ ЗАСВЕТОК ПЛОСКОСТИ АНАЛИЗА ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ СОБСТВЕННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИХ КОНСТРУКЦИИ

Предложен алгоритм оптимизации внутриприборной засветки аэродинамически нагретыми обтекателями инфракрасных пеленгаторов. Алгоритм реализуется при использовании существующих программ расчета на ЭВМ температурных полей обтекателей инфракрасных пеленгаторов, установленных на летательных аппаратах, и облученности, создаваемой ими в плоскости анализа оптической системы пеленгатора.

Одним из ведущих направлений оптического приборостроения является разработка оптико-электронных устройств (ОЭУ) объективного контроля, автоматизирующих процессы измерения, обзорно-поисковых, кибернетических, анализирующих и специальных оптико-электронных систем.

Ввиду высоких технических требований, предъявляемых при проектировании и конструировании к таким устройствам и системам, необходимо исследование влияния на их работоспособность внешних и внутренних фоновых условий и возможности их оптимизации. Одним из внутренних условий, определяющих работоспособность ОЭУ, является собственное излучение элементов конструкции оптического канала (внутренней полости ОЭУ), создающее в плоскости анализа ОЭУ внутреннюю фоновую засветку (ВФЗ).

В общем случае ВФЗ определяется излучением этих элементов конструкции, непосредственно попадающим в плоскость анализа (прямая

засветка) и облучающим ее вследствие отражения от поверхности элементов конструкции внутренней полости ОЭУ (рассеянная засветка). Количественное соотношение составляющих фоновой облученности плоскости анализа определяется, в первую очередь, спектральным диапазоном работы прибора (с его увеличением возрастают зеркальные свойства поверхностей неоптических элементов конструкции), а также сложностью его конструктивной компоновки.

Теоретические и экспериментальные исследования фоновых засветок, обусловленных собственным излучением элементов конструкции ОЭУ, проводятся на предприятиях оптического приборостроения.

Основы методики расчета объемного излучения оптических сред развивались Г.О. Мак-Магоном, Ю.А. Суриновым и другими [1–3]. Были проведены исследования влияния нагрева основных элементов оптических систем ОЭУ, в том числе обтекателей, установленных на летательном аппарате, на их работоспособность. Для этого были разработаны методики расчета облученности указанными оптическими элементами (формы мениска, конуса, пластины) в плоскости анализа изображения прибора [4–6].

Помимо указанных были созданы методики расчета ВФЗ головными элементами ОЭУ при повороте относительно них остальной части оптической системы прибора, а также методики, в которых учитывается экранирование их излучения защитными блендами [7–10]. В проведенных исследованиях экспериментально подтверждалось, что для рассматриваемого типа ОЭУ, работающих в спектральном диапазоне 1...3 мкм, ВФЗ в основном определяется излучением аэродинамически нагреваемых головных элементов их оптической системы. Это позволяло в том же спектральном диапазоне использовать созданные методики для определения внутриприборных засветок оптико-электронных устройств, первый оптический компонент которых находится в тяжелых температурных условиях (защитные стекла пирометров, тепловизоров, авиационных фотоаппаратов, пеленгаторов и др.).

Созданы также теоретические основы для определения ВФЗ собственным излучением линзовых компонентов ОЭУ [4, 5]. При их практической реализации появляется возможность определять составляющие фоновой облученности этими компонентами в случае исследования чувствительности ОЭУ различного функционального назначения, обычно работающих в условиях изменения температуры окружающей среды в диапазоне $-60 \dots 60$ °С. Однако оценка предлагаемых в работе [5] аналитических соотношений для расчета ВФЗ линзовыми компонентами оптической системы выявила ограниченность использования этих формул с точки зрения точности вычислений в зависимости

от спектрального диапазона работы ОЭУ. Проведенные вычисления показывают, что для приборов, работающих в спектральных диапазонах $1 \dots 3$, $1 \dots 5$ и $7 \dots 13$ мкм, ошибка расчета ВФЗ линзовыми элементами их оптических систем по указанным в работе [5] соотношениям соответственно составляет 3–4 %, 10–40 % и 220–250 % [8]. В связи с тенденцией к увеличению спектрального диапазона ОЭУ применение результатов перечисленных работ для определения внутреннего фона, создаваемого излучением линзовых компонентов оптической системы, в общем случае затруднительно, а в многоканальных по спектру приборах — невозможно.

Поэтому для определения ВФЗ с заданной точностью в ОЭУ произвольной конструктивной компоновки, работающих в любом диапазоне оптического излучения, необходимо решить следующие основные задачи:

- 1) разработать систему описания внутренней полости ОЭУ как сложного пространственного источника;
- 2) разработать методы расчета ВФЗ плоскости анализа ОЭУ элементами их конструкции;
- 3) получить аналитические зависимости для вычисления с заданной точностью в произвольном спектральном диапазоне ВФЗ компонентами оптической системы ОЭУ и непрозрачных элементов конструкции произвольной геометрической конфигурации;
- 4) разработать методы и алгоритмы расчета взаимозэкранирования излучения элементов конструкции ОЭУ при определении ВФЗ его плоскости анализа;
- 5) разработать методики расчета суммарных фоновых облученностей (прямой и рассеяной засветки) в плоскости анализа ОЭУ излучением элементов их конструкции произвольной компоновки.

Для решения поставленной проблемы в работе [7] предлагается система описания внутренней полости прибора как сложного пространственного источника с помощью определенной индексации и таблиц. Эта система позволяет получать информацию о местоположении заданного элемента в конструкции ОЭУ, его конфигурации, геометрических размерах, степени нагрева, энергетических параметрах и др., необходимую для расчета. В соответствии с заданной системой описания конструкции внутренней полости прибора произвольной компоновки в работе [7] изложены восемь методик расчета суммарных фоновых облученностей ее элементами. Отдельно разработаны методы определения ВФЗ неравномерно нагретыми элементами конструкции ОЭУ.

При создании теоретических основ решения проблемы ВФЗ для решения третьей из перечисленных задач необходимо разработать ал-

горитмы для расчета составляющих суммарных фоновых облученностей различными элементами конструкции прибора при численно-аналитическом вычислении исходного интеграла, их определяющего, с заданной точностью в произвольном спектральном диапазоне. При этом должны быть получены аналитические соотношения для вычисления ВФЗ следующими источниками:

- осесимметричными линзовыми компонентами оптической системы произвольной конструкции, как изотропной полупрозрачной среды;

- осесимметричными сферическими, асферическими и плоскими зеркальными компонентами оптической системы;

- непрозрачными элементами конструкции ОЭУ произвольной геометрической конфигурации;

- обтекателями оптических пеленгаторов (формы концентрического мениска, пирамиды, конуса и др.) при качании в двух ортогональных плоскостях их координатора;

- заделками обтекателей оптических пеленгаторов при качании их координатора.

На основе методики расчета суммарных фоновых облученностей в плоскости анализа с использованием полученных аналитических зависимостей можно определить оптимизационную модель ВФЗ (с выбором параметров оптимизации) для решения проблемы помехозащитности ОЭУ, работающих в тяжелых температурных условиях или отвечающих повышенным техническим требованиям.

Поскольку на распределение суммарных фоновых облученностей элементами конструкции ОЭУ в значительной степени влияет экранирование их излучений при прохождении в направлении плоскости анализа, необходимо его количественное определение. В соответствии с введенной в работе [7] классификацией видов экранирования необходимо разработать основные принципы их определения и алгоритмы расчета. Перечисленные основные задачи связаны с созданием общей теории рассматриваемой проблемы.

Наконец, при решении последней из поставленных задач разрабатываются структурные схемы методик расчета ВФЗ при численном и численно-аналитическом вычислении кратных интегралов, определяющих составляющие ВФЗ различными элементами конструкции внутренней полости ОЭУ. Частично решение этой задачи с экспериментальным обоснованием некоторых теоретических положений представлено в работах [8–14].

Таким образом, изложены положения, основываясь на которых необходимо решать проблему ВФЗ. Их практическая реализация в виде

алгоритмов, программ ЭВМ, как самостоятельных средств вычисления или составляющих САПР, позволяет подойти к осуществлению оптимизации ВФЗ при проектировании и конструировании ОЭУ.

При этом оптимизацию, как математическую операцию, строят в виде итерационного процесса последовательных приближений к минимуму излучения. По конечным результатам расчета предшествующего шага производят изменение величин выбранных параметров оптимизации для выполнения последующего. Итерационное повторение шагов заканчивается, когда изменение излучения от шага к шагу становится пренебрежимо мало или достигает значения, не влияющего на величину выбранного критерия оценки оптимизации [15]. Согласно изложенному, достаточно описать один шаг оптимизации, чтобы пояснить суть всего процесса.

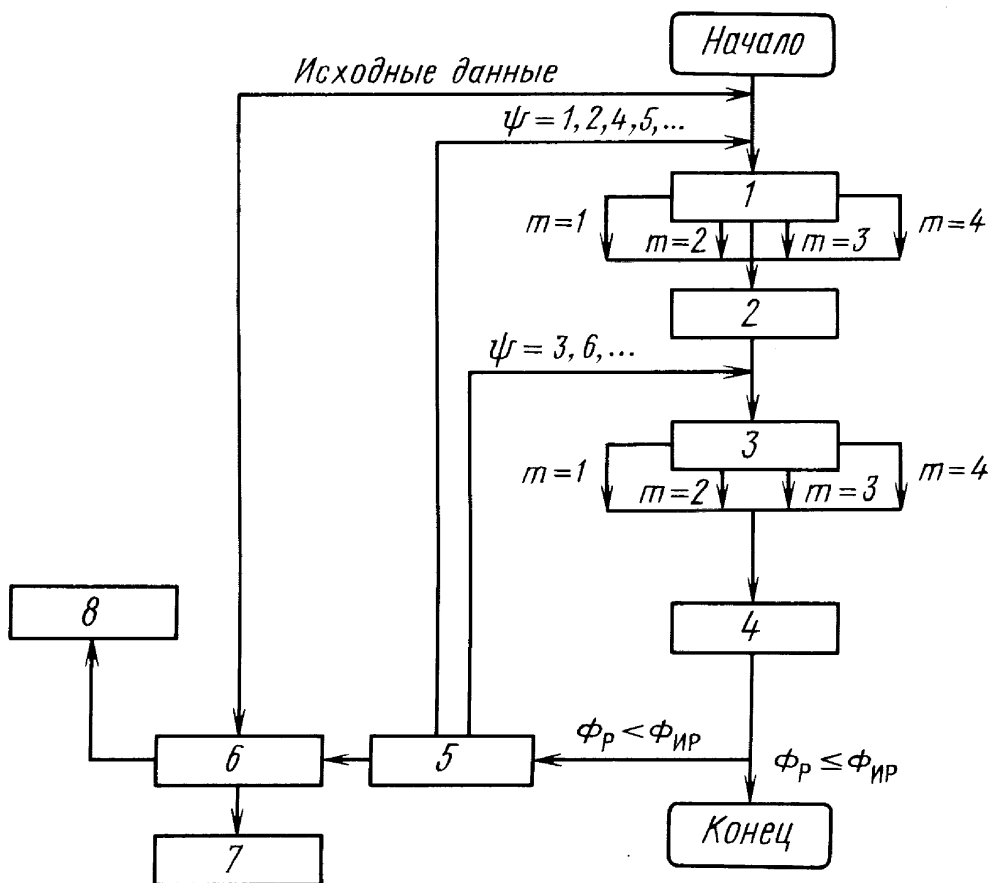
Рассмотрим оптимизацию параметров аэродинамически нагретых обтекателей для уменьшения влияния их излучения на чувствительность инфракрасных пеленгаторов. Под оптимизацией в этом случае будем понимать направленное изменение этих параметров начиная с некоторых исходных значений (например, со значений для первого варианта конструктивной разработки) с целью уменьшения излучения в плоскости анализа от рассматриваемого источника (обтекателя) до величины, не влияющей на чувствительность инфракрасных пеленгаторов при эксплуатации.

Для этого определим метод вычисления облученности (излучения на квадрат площади) аэродинамически нагретым обтекателем в плоскости анализа и программное обеспечение для его осуществления. Произведем расчет температурного поля обтекателя на траектории полета летательного аппарата с инфракрасным пеленгатором (см. рисунок, 2) и по его результатам определим облученности в плоскости анализа (4). Используя имеющиеся программы (1), можно вычислить нагрев сферических, конических, пирамидальных, плоских обтекателей при скоростях полета летательного аппарата $M_\infty = 1 \dots 6$ [11, 16]. В дальнейшем их форму будем определять цифровым значением индекса m : $m = 1$ для сферических обтекателей, $m = 2$ — для конических, $m = 3$ — для пирамидальных, $m = 4$ — для плоских (1). Программы расчета облученности в плоскости анализа инфракрасного пеленгатора обтекателями указанных форм на рисунке обозначены 3 [8, 11, 12]. Определив метод вычислений и программное обеспечение для его осуществления, переходим к выбору параметров оптимизации, которые в дальнейшем будем задавать числовым значением индекса ψ . К этим параметрам можно отнести форму обтекателя ($\psi = 1$), его материал, определяющий теплопроводность ($\psi = 2$), и излучательную способность

($\psi = 3$), а также геометрические параметры: толщину ($\psi = 4$), световой диаметр ($\psi = 5$), радиусы кривизны ($\psi = 6$) и т.д. В данном случае параметры оптимизации отождествлены с конструктивными и связанными с ними физическими величинами (теплопроводность, излучательная способность и т.д.). Однако в общем случае параметрами оптимизации могут быть также некоторые безразмерные величины, которым можно придавать любые значения, однозначно определяющие оптимизируемую конструкцию [15].

Выполнив вычисления потока излучения Φ_p по заданному значению параметра оптимизации (см. рисунок, 4), осуществляют сравнение Φ_p с заданным предельным $\Phi_{ир}$, по результатам которого либо заканчивают оптимизацию при $\Phi_p \leq \Phi_{ир}$, либо обращаются к программе управления процессом оптимизации (5).

Наиболее эффективна работа с этой программой в диалоговом режиме, когда расчетчик 7 через монитор 6 оперативно вмешивается в



Структурная схема алгоритма оптимизации

процесс оптимизации и получает результат расчетов в наглядной форме 8 (на графическом дисплее, принтере и т.п.).

Изложенный примерный метод вычислений с использованием имеющегося к настоящему времени программного обеспечения для расчета нагрева на траектории полета летательного аппарата и полей облученности обтекателями инфракрасных пеленгаторов в плоскости анализа позволяет провести оптимизацию их конструктивных параметров для уменьшения влияния излучения обтекателей на чувствительность пеленгаторов при эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М с М а к о н Н. О. Thermal Radiation from Partially Transparent Reflecting Bodies. – 1950. – № 6. – V. 40. – P. 376–378.
2. Суринов Ю. А. Лучистый обмен при наличии поглощающей и рассеивающей среды // Изв. АН СССР. ОТН. – 1962. – № 9. – С. 1331–1352.
3. Гершун А. А. Расчет объемного свечения // Избранные труды по фотометрии и светотехнике. – М.: Физматгиз, 1958.
4. Пахомов И. И. Освещенность плоскости изображения от собственного излучения линз // Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана. – 1978. – № 219. – С. 13–17.
5. Голубь Б. И., Пахомов И. И., Хорохоров А. М. Собственное излучение оптических систем оптико-электронных приборов. – М., Машиностроение, 1971.
6. Киселев К. А. К расчету лучистости неравномерно нагретого плоского защитного окна // Оптико-механическая промышленность. – 1968. – № 7. – С. 16–19.
7. Пономарев В. М. Методы определения фоновой облученности ПАН ОЭП собственным излучением элементов их конструкции // Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана. Оптико-электронные приборы. – 1989. – № 536. – С. 125–141.
8. Пономарев В. М. Облученность в плоскости анализа ИК ОЭП от излучения плоско-параллельной пластины и призм в произвольном спектральном диапазоне // Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана. Оптико-электронные приборы. – 1993. – № 536. – С. 3–36.
9. Пономарев В. М. Определение экранирования излучения нагретых элементов конструкции фотоэлектрических приборов защитными блендами // Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана. Оптико-электронные приборы. – 1975. – № 186. – С. 37–45.
10. Коротков В. П., Каледин С. Б., Пономарев В. М. Экспериментальная оценка возможности применения коэффициента экранирования по площади при определении облученности в плоскости анализа ОЭП // Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана. – 1981. – № 386. – С. 16–23.
11. Пономарев В. М., Голубь Б. И. Фоновая облученность плоскости анализа тепловизионной камеры от неравномерно нагретого защитного элемента // Тепловидение. – 1994. – № 10. – С. 7–11.
12. Пономарев В. М. Определение облученности плоскости анализа изображения оптико-электронного прибора плоско-выпуклым (вогнутым) оптическим элементом // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Приборостроение". – 1992. – № 2. – С. 116–124.

13. Пономарев В. М., Голубь Б. И. Программный модуль расчета фоновой облученности плоскости анализа зеркальной тепловизионной камеры // Тепловидение. – 1994. – № 10. – С. 12–17.
14. Пономарев В. М., Голубь Б. И. Внутриприборные фоновые помехи приборов с линзовой оптической системой // Тепловидение. – 1996. – № 11. – С. 15–21.
15. Аоки М. Введение в методы оптимизации. – М.: Наука, 1977.
16. Каледин С. Б., Маляров Е. В., Пономарев В. М. Вычисление температурных полей головного концентрического мениска оптико-электронного прибора, установленного на летательном аппарате // Алгоритмы и программы: Информационный бюллетень. – М.: ВНИИ, 1989. – № 3. – С. 76–98.

Статья поступила в редакцию 28.10.2003



Валерий Михайлович Пономарев родился в 1940 г., окончил в 1963 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры “Элементы приборных устройств” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 80 научных работ в области оптико-электронного приборостроения.

V.M. Ponomarev (b. 1940) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1963. Ph.D. (Eng.), senior researcher, ass. professor of "Elements of Instrumental Devices" department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of over 80 publications in the field of optical and electronic device engineering.



Игорь Степанович Потапцев родился в 1939 г., окончил в 1966 г. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Канд. техн. наук, и.о. заведующего кафедрой “Элементы приборных устройств” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 научных работ в области приборов точной электромеханики и систем ориентации, стабилизации и навигации.

I.S. Potapcev (b. 1939) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1966. Ph.D. (Eng.), acting head of “Elements of Instrumental Devices” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of over 40 publications in the field of devices of precise electromechanics and systems of orientation, stabilization and navigation.